

VIABILIDAD DE UNA ESCORIA DE FERROALEACIONES PARA LA ELABORACIÓN DE HORMIGONES

MOISÉS FRÍAS, MACARENA GARCÍA DE LOMAS, M^A ISABEL SÁNCHEZ DE ROJAS,
IGNACIO MENÉNDEZ, J. M^A. RINCÓN LÓPEZ

Instituto de Ciencias de las Construcción Eduardo Torroja (CSIC).

CRISTINA RODRÍGUEZ

Ferroatlántica, División de Ferroaleaciones. Santander

RESUMEN:

El objetivo de este trabajo es estudiar la viabilidad de fabricación de hormigones con 100% de árido reciclado, utilizándose como árido escorias de silicomanganeso.

Para ello se lleva a cabo una caracterización del material y tras su preparación (machaqueo, secado y homogeneización) se realizó una clasificación del material para la utilización de dichas escorias tanto para árido fino como para árido grueso.

Se estudió las condiciones físico-químico-mecánicas de estos áridos para su óptima utilización como árido de reciclado en la fabricación de hormigones.

Posteriormente se realizó un estudio teórico de la dosificación del hormigón a elaborar mediante la curva de Bolomey, llegándose a elaborar probetas, con una relación agua/cemento 0,63 y consistencia fluida.

Los resultados obtenidos en este trabajo, muestran la posibilidad de la fabricación de hormigones con un 100% de árido de reciclado, siendo la escoria de SiMn apta para su utilización con este fin.

1. Introducción

Durante las últimas décadas, se han investigado las escorias de alto horno debido a su buen comportamiento en matrices cementantes, principalmente por sus propiedades hidráulicas, las cuales han sido recicladas como adición activa en cementos Pórtland comerciales (Mozt et al. 2000 ; EN 197-1.2000 ; Calleja 2002).

Recientemente, una nueva generación de escorias se están produciendo en acerías utilizando como tecnología el horno de arco eléctrico. Estos hornos son mas competitivos en la sociedad actual que los altos hornos, pero sus residuos presentan mayores problemas

para su reciclado y reutilización. Actualmente, una de las formas de reciclado de estas escorias es como árido de reciclado. Frías et al. (2002, 2004), muestran los resultados de una escoria de alto horno española, los cuales indican su alta cristalinidad y que la presencia de productos expansivos (Cl , SO_3 , CaO libre, MgO libre) están en muy baja o nulas concentraciones; por tanto, fue posible su utilización como árido de reciclado. Sin embargo, las acerías producen diferentes tipos de escorias dependiendo del tipo de acero fabricado.

Uno de estos residuos es la escoria procedente de la industria de silico-manganeso la cual produce grandes cantidades de dichas escorias. Sólo en España, este sector produce 150000 toneladas que son depositadas en vertederos pertenecientes a las propias industrias o a las Administraciones públicas.

En un estudio previo, Frías et al (2004), muestran la utilización de una escoria española de SiMn como material puzolánico en la fabricación de cementos con adiciones.

Este trabajo presenta otra posibilidad de reciclado de este residuo, la utilización de esta escoria de SiMn como árido de reciclado para la fabricación de hormigones.

2. Experimental

2.1. Caracterización de los materiales.

Los materiales utilizados en este estudio fueron:

- Cemento tipo I 42,5R.
- Árido de reciclado: se ha utilizado una escoria de SiMn enfriada al aire suministrada por la empresa FERROATLÁNTICA, S.L.

En Fig.1. se presenta su composición química, la cual refleja un alto contenido en óxidos de Si y Ca y en la Fig. 2. está representado el difractograma de Rayos X de dicha escoria mostrando que el componente cristalino principal es un silicato magnésico cálcico (akermanita).

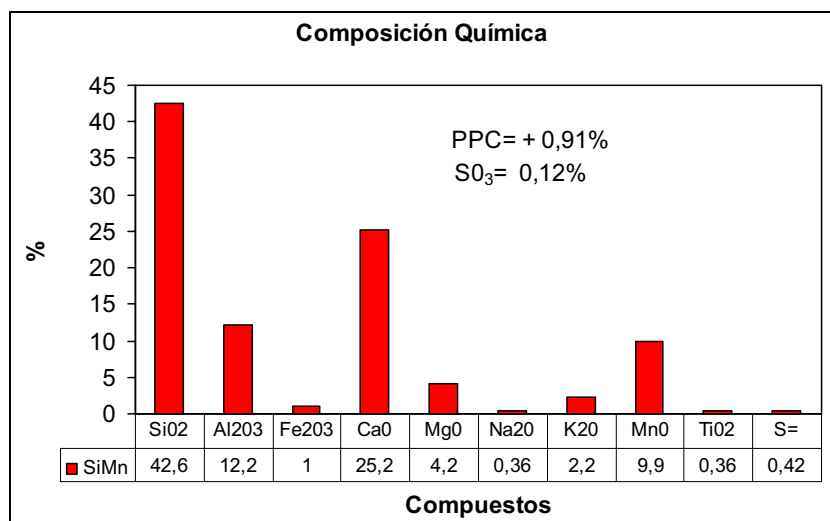


Figura 1. Composición Química.

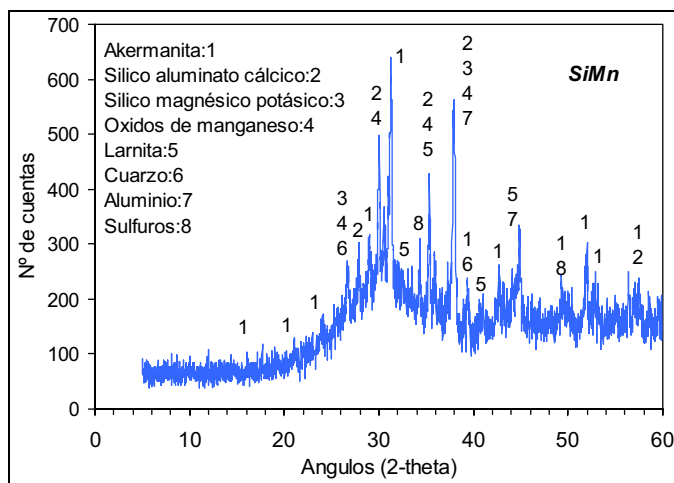


Figura 2. Composición mineralógica.

2.2. Preparación de la escoria para su utilización como árido de reciclado.

Las muestras de escoria (Foto.3.) presentan un gran tamaño en forma de losas o plaquetas. Para su utilización como árido de reciclado se procedió a un machaqueo utilizando una trituradora de mandíbulas, y posteriormente se secó y homogeneizó.

Una vez realizado el machaqueo, secado y la homogeneización del material, se clasificó de acuerdo la normativa EN 12620:2002, con un tamaño de árido comprendido entre 4 y 20 mm para su utilización como árido grueso. El árido fino se clasificó de acuerdo con la Instrucción de Hormigón Estructural EHE:1999. En la Fig.4.se presenta la curva granulométrica según uso, de los áridos clasificados para su utilización como árido fino, cuya granulometría debe estar comprendida entra un tamaño de 0.063 y 4 mm.



Foto.3. Aspecto de los trozos de escoria de SiMn.

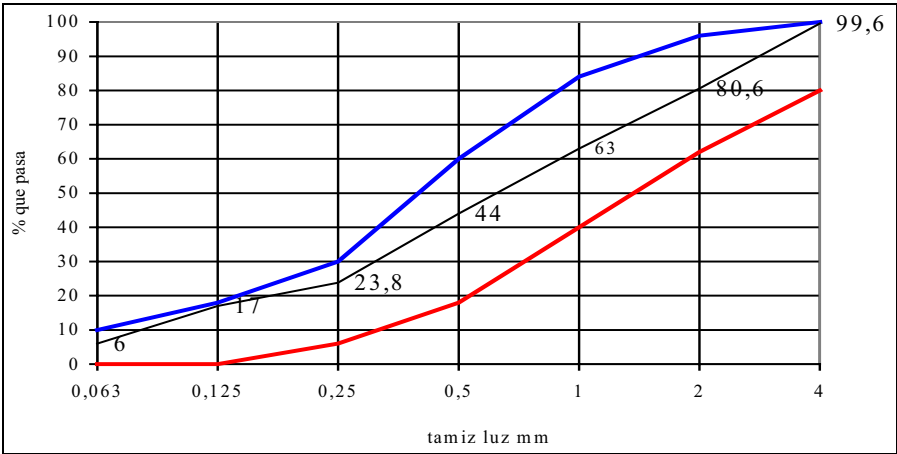


Figura 4. Curva granulométrica según uso.

2.3. Condiciones físico-químicas.

2.3.1. Sustancias perjudiciales.

La Tabla.5. recoge los valores obtenidos para las sustancias catalogadas como perjudiciales del árido de reciclado utilizados en este trabajo, determinados según la norma UNE EN 1744- 1 (1999) y sus limitaciones según la EHE.

A la vista de los resultados se puede establecer, que la escoria de este árido de reciclado presenta contenidos en estas sustancias inferiores a las limitaciones máximas especificadas en la Instrucción EHE:1999.

Material Ensayado (%)	Azufre total como SO ₃	Sulfatos solubles (como SO ₃)	Cl	Limitaciones EHE		
				SO ₃	Sulfatos total Soluble	Cl
Escoria de SiMn (%)	0,63	0,12	0 (*)	1,0	0,80	0.5

(*) No hay indicios

Tabla.5. Valores químicos de la escorias y sus limitaciones según la EHE.

2.3.2. Reactividad álcali-sílice.

La reactividad álcali-sílice se determina según la norma UNE 146507:99. En este ensayo se evalúa la reactividad potencial de tipo álcali-sílice o álcali-silicato, a través de la determinación de la expansión de probetas de mortero sumergidas en una solución de NaOH a elevada temperatura.

La expansión lineal obtenida es de 0,06%, dado que dicha normativa recoge que una expansión inferior al 0,1% el árido es considerado no reactivo, podemos afirmar por tanto que la escoria de SiMn no es reactiva frente a los álcalis del cemento.

2.4. Condiciones físico-mecánicas.

2.4.1. Resistencia a la fragmentación del árido grueso.

La resistencia a la fragmentación se determina por medio del coeficiente de Los Ángeles (método de referencia), conforme a la norma UNE 1097-2:1999.

El resultado obtenido para este árido de reciclado, es de un coeficiente de Los Ángeles de 17,86. Este valor es muy inferior al limitado en la EHE (≤ 40), lo que significa que esta escoria de SiMn muestra gran resistencia al desgaste.

2.4.2. Absorción de agua por el árido.

La absorción de agua se determinó según las normas UNE 83-133:90 y UNE 83-134:90.

La Tabla.6. muestra la absorción de agua tanto por parte del árido fino como del árido grueso. Ambos resultados son inferiores al 5%, valor por debajo del cual, según la EHE, debe estar la absorción de agua por parte de los áridos para cumplir esta especificación.

Árido de escoria de SiMn de machaqueo	Absorción de agua %
Fino	2,14
Grueso	2,24

Tabla 6. Absorción de agua.

2.4.3. Coeficiente de forma del árido grueso.

Para la valoración de la forma del árido se utiliza el coeficiente volumétrico, que es la relación del volumen de un grano al volumen de las esferas que tiene como diámetro, la mayor dimensión de dicho grano.

El coeficiente de forma de la escoria de SiMn utilizado como árido grueso, es de 0,20 determinado según la norma UNE 7238:71. Según la EHE el coeficiente de forma del árido utilizado no debe ser inferior a 0,20, por lo tanto este árido de reciclado cumple con la especificación de la EHE para su utilización como árido grueso.

2.5. Dosificación y elaboración de un hormigón con el 100% de árido de reciclado.

2.5.1. Dosificación.

En la Fig.7.se presenta la curva de Bolomey, considerada para este caso ya que dicha curva tiene en cuenta la proporción de cemento, además de la consistencia y del tipo de árido; además se presenta las curvas granulométricas del árido fino y del árido grueso, y la curva granulométrica utilizada.

En este trabajo se considera un hormigón de consistencia blanda, con un asiento de cono de Abrams de 6-9 cm según la norma UNE 83313-90 y con una cantidad fijada de cemento de 325 Kg/m³.

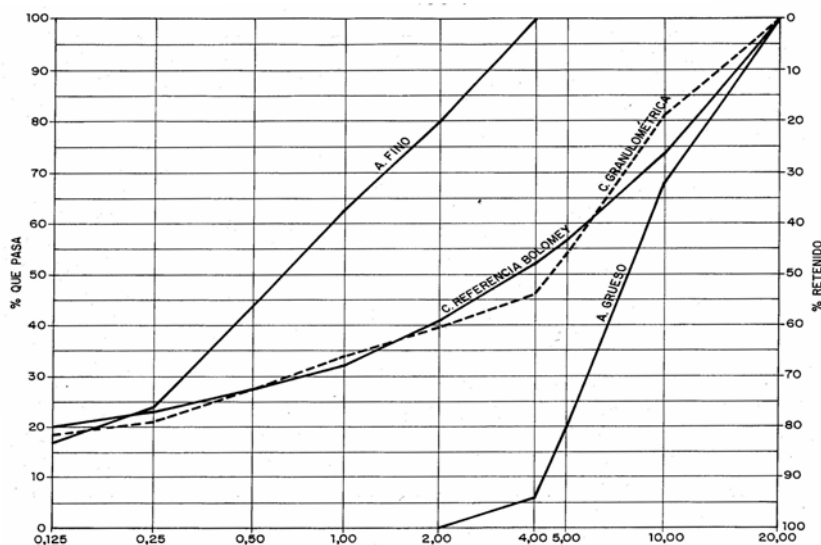


Fig. 7. Curvas granulométricas.

La proporción óptima en % relativo de los áridos que constituyen la mezcla cuya curva granulométrica se adapta de una manera aproximada a la curva de Bolomey es la siguiente:

- Cemento (I-42,5R)..... 13%.
- Árido fino (escoria de SiMn)33%.
- Árido grueso (escoria de SiMn) ...54%.

2.5.2. Fabricación del hormigón con el árido de reciclado.

La fabricación, compactación y conservación de las probetas se lleva a cabo según la norma 83-301:91.

Se fabricaron probetas cilíndricas de dimensiones 7,5x15 cm, el material se amasó en una amasadora de eje vertical y la compactación se efectuó mediante picado con barra. Las probetas fabricadas se mantuvieron en sus moldes en ambiente de laboratorio de $21 \pm 1^\circ\text{C}$ y 55% de H.R.

Una vez extraídas del molde, después de 24 horas desde el momento de su fabricación, las probetas se sumergieron en agua hasta el día de ensayo.

2.5.3. Resistencias a compresión.

Las resistencias a compresión de las probetas elaboradas con un 100% de árido de reciclado se determinan de acuerdo con la norma UNE 83-304:84.

En la Fig.8. se muestran los resultados obtenidos a 7, 28 y 90 días de curado. Estos resultados pueden considerarse buenos de acuerdo con el hormigón fabricado, esto es, un hormigón con una relación agua/cemento de 0,63 y una consistencia blanda, alcanzándose valores próximos a los denominados hormigones de altas prestaciones.

La foto.9. muestra el aspecto de una probeta rota a los 28 días de curado. En ella, se observa que tanto la matriz cementante como el árido de SiMn forman un conjunto muy compacto, cuya rotura se produce tanto por la matriz cementante como por el árido.

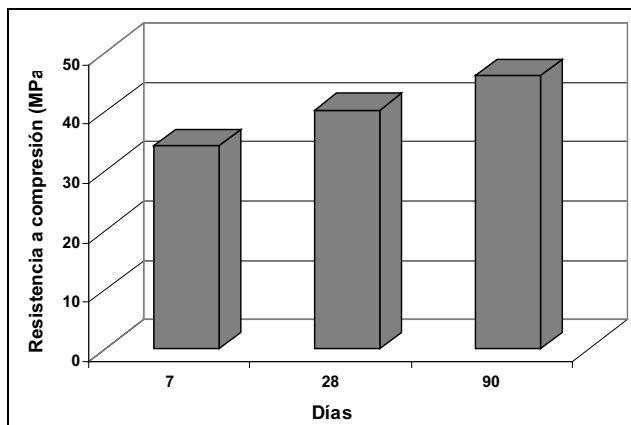


Fig. 8. Resistencias a compresión.



Foto. 9. Aspecto de la superficie de rotura.

3. Conclusiones

A la vista de los resultados obtenidos se deduce lo siguiente:

a. Condiciones físico-químicas

1. Los contenidos de azufre total, sulfatos soluble, cloruros y sulfuros presentes en la escoria cumplen la normativa vigente.
2. Según la norma UNE 146508, la escoria de SiMn no produce reacción árido-álcali.

b. Condiciones físico-mecánicas.

3. El árido de reciclado presenta alta resistencia al desgaste de los Ángeles. El valor obtenido es muy inferior ($LA=17,9$) al especificado en la Instrucción EHE ($LA \leq 40$).
4. Los valores obtenidos de coeficiente de forma y absorción de agua (para el árido de SiMn fino y grueso) cumplen con la exigencias de la EHE.
5. Con el hormigón elaborado con escoria de SiMn se han obtenido valores de resistencia a compresión de 40,21 Mpa en probeta cilíndrica de 7,5x15 cm a 28 días de curado. Valor considerado muy superior a un hormigón con áridos tradicionales.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a la empresa FERROATLÁNTICA, S.L. por su apoyo económico para la realización de esta investigación.

Bibliografía

- H. Mozt and J. Geiseler, Pructs of steel slags, in: G.R. Woolley and J.J.J. Goumans and P.J. Wainright (Eds), Inter. Conf. On the Science and Engineering of Recycling for Environmental Protection, WASCON 2000, Harrogate (UK), I (2000) pp. 207-220.
- European Standars EN 197-1:2000, Composition, specifications and conformity criterions for normal cements.
- J. Calleja, Normas españolas UNE 2002 para cementos, in. IECA (Ed), Madrid, (2002) pp. 1-48.
- M. Frías and M.I. Sánchez de Rojas, Chemical assessment of the electric arc furnace slag as contruction material: Expansive compounds, Cem, Concr Res., 34(2004)1881-1888.
- M. Frías and M.I. Sánchez de Rojas and A. Uría, Study of the instability of black slags from electric arc furnace steel industry, Mater. Construcc., 52 (267)(2002) 79-83.
- EN 12620:2002. "Áridos para el hormigón".
- EHE:1999."Instrucción de Hormigón Estructural. Tomo 3".
- UNE EN 1744-1:1999. "Ensayos para determinar las propiedades de los áridos. Parte1: Análisis químicos".
- UNE EN 1097-2:1999."Ensayo para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 5.
- UNE 83-133,134:1990. "Áridos para hormigones. Determinación de las densidades, coeficiente de absorción y contenido de agua en el árido".
- UNE 7238:1971. "Determinación del coeficiente de forma del árido grueso empleado en la fabricación de hormigones".
- UNE 83-133:1990. "Ensayos de hormigón. Medida de la consistencia del hormigón fresco. Método del cono de Abrams".